

ゼロエミッションと複雑適応系に関する一考察

A study on Zero Emissions and Complex Adaptive Systems

荒井義則

ARAI Yoshinori

In this paper, we prove that Zero Emissions are Complex Adaptive Systems.

1. はじめに

近年、地球環境問題の深刻化にともなって、いろいろな分野で環境問題に対する取り組みが進んでいるが、経営学の一分野であるマーケティング論においても環境を考慮した環境マーケティングの研究が進展している。^{1),2)} 前々稿³⁾においては、環境マーケティングを複雑適応系という観点から考察し、また、前稿⁴⁾においては、環境マーケティングにおける循環型システムの構築という面に着目し、オートポイエーシスという観点から環境マーケティングシステムを解析した。これらの論文においては、環境マーケティングシステム全体を考察の対象としたが、本稿においてはその部分システムである「ゼロエミッション」^{5),6)}について複雑適応系の観点から考察する。前々稿³⁾において、環境マーケティングシステムは部分システムとして複雑適応系を含む複雑適応系であると指摘したが、個々の部分システムの詳細については考察の対象としなかった。本稿では重要な部分システムである「ゼロエミッション」システムを考察の中心にすえる。

なお、本稿（前稿）における環境マーケティングの定義は以下のとおりである。

地球環境保全を第一とし、環境を悪化させないという条件のもとで、「顧客満足」と「企業の利益」を最大化し、持続的発展が可能な社会を実現するための企

業、消費者、政府、地方公共団体の協同活動。

この定義では「顧客満足」と「企業の利益」を「地球環境の保全」に優先させないとしており、短期的には企業や消費者にとっては不利益となる場合もあるが、その場合でも長期的には企業にとっても消費者にとっても利益となる。

本稿においては、第2節でゼロエミッションについて考え、第3節で複雑適応系との関連を考えるが、第2節においては環境物理学的な観点からゼロエミッションを考案し、ゼロエミッション成立の可能性を探る。

2. ゼロエミッション

2-1 ゼロエミッションの定義

「ゼロエミッション」は1994年に国連大学が提唱した概念で、文字通り訳すと「廃棄物ゼロ」ということになるが、「循環型社会白書（平成16年版）」⁷⁾では次のように定義されている（174頁）。

ある産業の製造工程から出る廃棄物を別の産業の原料として利用することにより、廃棄物の排出（エミッション）をゼロにする循環型産業システムの構築を目指すもの。国連大学が提唱し、企業や自治体で取組が進んでいる。

ゼロエミッションは上の定義にもあるように、企業や自治体で実際に取り組まれている。ゼロエミッションに取り組んでいる企業や自治体には

- ① 内陸工業団地⁶⁾
- ② 国母工業団地⁶⁾
- ③ 北九州エコタウン事業^{6), 8)}
- ④ 川崎ゼロエミッション工業団地⁶⁾
- ⑤ 藤沢エコインダストリアルパーク⁶⁾
- ⑥ 本庄国際リサーチパーク⁶⁾
- ⑦ ゼロエミッション屋久島プロジェクト⁹⁾

などがある。

2-2 環境物理学の観点から^{10)・13)}

ゼロエミッションといえども、物理学の基本法則には当然従う。ゼロエミッションで扱うのは物質とエネルギーということになるが、これらは当然のことながら熱力学の第二法則に従う。熱力学の第二法則はエントロピーの増大則であり、この法則を考慮すると、ゼロエミッションは原理的には不可能であることが指摘されている。^{11)・13)} エントロピー学会が提唱する「循環型社会を実現するための20の視点」¹⁴⁾の6番目においても

技術はエントロピーの法則に支配される。

とあり、

生産活動は、資源とエネルギーを用いて、人間に有用な（多くの場合エントロピーを減少させた）製品を作り出す。しかしその結果として同時に、有用性の低い高エントロピーの廃物を必然的に作り出す。これは避けることのできない法則である。多様な生態系に頼らずにすべての廃棄物を人為的に元に戻す「逆工場」や「ゼロエミッション」は原理的には不可能である。

と解説されている。物理的にはゼロエミッションは原理的に不可能である。

2-3 ゼロエミッションの可能性

「ゼロエミッションのガイドライン（国連大学ゼロエミッションフォーラムブックレット）」¹⁵⁾によると、「ゼロエミッション」は単に廃棄物をゼロにするというだけでなく、モノを大切に使う、製品を作る場合は長持ちする製品を作る、使い終わった製品はリサイクルさせて何度も使うなど、有限な地球を前提にした新しい文明創造を目指すための用語として使用されている。¹⁵⁾ さらに、ゼロエミッション実現のための6つの守るべき行動原則が掲げられている。¹⁶⁾

- ① 再生可能な資源は、再生される資源量を上回って消費しない。
- ② 再生不可能な資源は、資源の生産性を向上させるとともに、再生可能でクリーンな代替資源を開発し、その生産量に見合う範囲で消費できる。
- ③ 自然界の許容限度を超えて廃棄物を放出しない。
- ④ 経済活動、日常生活の場で、できるだけ脱物質化を図る。
- ⑤ 地上ストック資源の有効活用を図る。
- ⑥ 環境コストを内部化させ、環境効率の高い市場経済をつくる。

また、ゼロエミッション社会を構築する為の具体的な5つの方法も掲げている。¹⁷⁾

- ① 製品設計革命（使われた原料をすべて完成品の中に組み入れ廃棄物を出さない設計に近づける）
- ② 産業クラスター革命（廃棄物を資源化する産業集団の形成）
- ③ エネルギー革命（化石燃料に代わるクリーンで再生可能なエネルギーの開発）
- ④ バツズ課税、グッヅ減税を基調とする税制革命（環境税の導入など）
- ⑤ ライフスタイル革命（大量生産、大量消費、大量廃棄からの転換）

上記の「6つの行動原則」や「5つの方法」を見ると、「ゼロエミッション」は単に「廃棄物ゼロ」というだけでなく、かなり広い意味で使われていることがわかる。ここでは行動原則の②と方法の③に着目する。行動原則②も方法③もエネルギーに言及しており、その主張するところは、化石燃料に代わる太陽光発電、風力発電、バイオマス発電などのクリーンで再生可能なエネルギーの開発と普及である。

「2-2」ではゼロエミッションは原理的には不可能であるという結論であった。この結論は熱力学の第二法則に基づいており、廃棄物を次々に原料として使用し廃棄物を出さないシステムを作ることは可能であるが、そのためには新たなエネルギー源を必要とするということである。

しかしながら、ゼロエミッションはエネルギーについても考慮しており、太陽光発電などのクリーンで再生可能なエネルギーの開発と普及を主張している。現状では太陽光発電などが化石燃料の代わりをできる状態からはほど遠いが、太陽光発電などを通じて太陽エネルギーをより有効に使えるようになれば、廃棄物を次々と原料として廃棄物を出さないシステムに必要なエネルギー問題も解決される。¹⁸⁾ 国連大学が提唱するゼロエミッション

は「廃棄物ゼロ」と「太陽エネルギーなどの開発、普及」を合わせ持つ概念であり、したがってほぼ問題のないゼロエミッションシステムを提唱していることになる。すなわち、原理的には不可能であるが、現実的にはほぼ問題のないシステムを提唱していることになり、ゼロエミッションシステムは可能であるということになる。ただ、現状ではこのようなシステムの実現はかなり難しく今後さらに研究開発を続ける必要がある。

3. 複雑適応系から見たゼロエミッション

3-1 複雑適応系

ここでは、ジョン・ホランドの複雑適応系を考える。ジョン・ホランドは複雑適応系を4つの基本的属性（集合的特性、フロー、非線形性、多様性）と3つのメカニズム（タグ付け、内部モデル、積木）をもつシステムとして定義している。^{19) 21)}

(1) 集合的特性

ジョン・ホランドの複雑適応系はエージェントと呼ばれる多数の構成要素によってシステムが形成されているが、それら多数のエージェントが関与して現れる集合的な特性のことを「集合的特性」と呼んでいる。

(2) フロー

複雑適応系は生物の情報を処理する機構をもとにして考えられたシステムであるので、フローとはエージェント間の「情報の流れ」を意味する。

(3) 非線形性

数学的な非線形性と同じ意味である。

(4) 多様性

複雑適応系を構成するエージェントの多様性のことを意味する。

(5) タグ付け

システムにつけられる一種の標識のことである。これをもとにしてエージェントが集団を組織して複雑適応系が成立する。

(6) 内部モデル

複雑適応系は環境から得られた情報より規則性を抽出し、それを圧縮して、その圧縮したものをもとにして行動する。この圧縮したものを内部モデルという。^{22), 23)}

(7) 積木

エージェントが行なう行動のうち、よく使われる行動を保存しておき、それらを「積木」のように組み立てて行動をおこすときに用いる。

3-2 複雑適応系としてのゼロエミッション

以下では、ゼロエミッションシステムがジョン・ホランドの複雑適応系であることを示す。

(1) 集合的特性

ゼロエミッションを構成するエージェントは企業（所属している人間も含む）、地域住民、地方公共団体（所属している人間も含む）が中心となるが、これらのエージェントが協力し合ってはじめてゼロエミッションは完成する。ゼロエミッション自体が集合的特性となっている。

(2) フロー

フローは情報の流れであるが、ゼロエミッションを構成するエージェント間に多種多様な情報の流れが存在するのは当然である。この情報の中で特に重要なのが、各企業が排出する廃棄物の情報である。有害廃棄物を排出する場合、情報の公開をためらう企業も存在しかねないが、排出する廃棄物の情報を100%公開しないかぎりゼロエミッションは成立しえない。「排出する廃棄物情報」の完全公開ができるか否かがゼロエミッションの成否を決める最大の要因である。

(3) 非線形性

今までは大量に生産すれば大量の廃棄物が排出されるということが当然のこととして行われてきた。これは大量生産、大量消費、大量廃棄という社会システムにもささえられてきた。しかしながら、今後はこのようなシステムを続けることが不可能となっており、ゼロエミッションシステムが登場してきたのである。

ゼロエミッションシステムは生産量にかかわらず廃棄物をゼロにすることを目標とするシステムであるので、生産量と廃棄物の間には線形性が成立する（生産量にかかわらず廃棄物がゼロであれば、値がゼロという定数関数となるので、線形性が成立する）。しかしながら、どのようなゼロエミッションシステムを構築するかは、仮に同じ条件であったとしてもそのシステムに属する人間が異なれば異なるシステムを構築する可能性があり、その意味では多価性（同じ条件でもいくつかの結果が起こりうる）を有しており（数学的には多価関数となっており）、単純な線形システムとはとらえにくい。システムの構築自体に多価性を有し、システム構築後の意思決定にも人間が異なれば意思決定も異なるという可能性を有している（意思決定にも多価性がある）ので、単純な線形システムではなく、したがって非線形なシステムととらえることができる。²⁴⁾

(4) 多様性

ゼロエミッションシステムを構成するエージェントは企業、企業に属する人間、地域住民、地方公共団体、ゼロエミッションを推進および管理する組織、大学、地元の経済団体など多種多様である。⁶⁾

(5) タグ付け

ゼロエミッション自体が標識の役割を果たしていると思われるが、「北九州エコタウン事業」、「川崎ゼロエミッション工業団地」といった具体的な名称が標識の役割を果たしていると考えられる。

(6) 内部モデル

一般的なガイドライン⁶⁾ およびマニュアル⁶⁾ が発表されているので、内部モデルの中心となるものはすでに存在している。このガイドラインやマニュアルをもとにして、各ゼロエミッションシステムが自身のシステムに適するように作成したものが内部モデルとなる。

(7) 積木

ゼロエミッションが進行するに従い、いろいろ具体的な方法が考案され、よく使用される方法や技術が集積されてゆく。このような方法や技術が積木となって、いろいろな面に用いられるようになる。積木は各ゼロエミッションシステムで異なるが、他のシステムの積木を参考にして自身のシステムの積木とする場合も存在する。

以上の(1)-(7)により、ゼロエミッションシステムはジョン・ホルランドの複雑適応系となっていることが示せた。また、ゼロエミッションシステムは「スキーマを持つ非線形システム」であるからマレー・ゲルマンの複雑適応系であることも同時に示せた。ゼロエミッションシステムはエージェントとして企業、地方公共団体、大学などを含み、それらのエージェントはエージェント自身がジョン・ホルランドの複雑適応系となっていることが多い。したがって、ゼロエミッションシステムはジョン・ホルランドの複雑適応系をエージェントとして含む複雑適応系というシステムになっている。

4. おわりに

本稿ではゼロエミッションの成立の可能性にふれ、さらにゼロエミッションシステムが複雑適応系であることを示した。複雑適応系には適応度やカオスの縁といった問題が生じてくるが、これらとの関連については今後の研究課題としたい。

注

- 1) 西尾チヅル『エコロジカル・マーケティングの構図』有斐閣、1999。
- 2) 大橋照枝『環境マーケティング大全』麗澤大学出版会、2002。
- 3) 荒井義則「環境マーケティングと複雑適応系に関する一考察」神奈川大学経営学部『国際経営論集』第26号、43頁、2003。
- 4) 荒井義則「環境マーケティングとオートポイエーシスに関する一考察」神奈川大学経営学部『国際経営論集』第27号に掲載予定。
- 5) 三橋規宏『ゼロエミッションのガイドライン』海象社、2001。

- 6) ゼロエミッションマニュアル作成委員会『ゼロエミッションマニュアル Ver1』海象社、2003年。
- 7) 環境省編『循環型社会白書平成16年版』株式会社ぎょうせい、2004。
- 8) 末吉興一『北九州エコタウンゼロエミッションへの挑戦』海象社、2002。
- 9) 屋久島プロジェクト・ワーキンググループ『ゼロエミッション屋久島プロジェクト』海象社、2004。
- 10) 勝木渥『物理学に基づく環境の基礎理論』海鳴社、1999。
- 11) エントロピー学会編『「循環型社会」を問う』藤原書店、2001。
- 12) エントロピー学会編『循環型社会を創る』藤原書店、2003年。
- 13) 中山正敏『環境システムとエントロピー』（放送大学大学院教材）日本放送出版教会、2003。
- 14) 文献12) 266頁あるいは文献13) 197頁。
- 15) 文献5) 5頁
- 16) 文献5) 9頁
- 17) 文献5) 19頁
- 18) 太陽エネルギーを使うにしても熱力学の第二法則に従うのは当然であるが、太陽エネルギーをエネルギー源とするゼロエミッションシステムが構築できれば、ほぼ問題のないゼロエミッションシステムが完成する。
- 19) John. H. Holland, *Hidden Order*, Addison-Wesley, 1995.
- 20) 田中三彦、坪井賢一『複雑系の選択』ダイヤモンド社、1997。
- 21) 井庭崇、福原義久『複雑系入門』NTT出版、1998。
- 22) マレー・ゲルマンはこの圧縮したものを「スキーマ」と呼んでいる。マレー・ゲルマンはジョン・ホルランドの複雑適応系とは別の複雑適応系を定義している。マレー・ゲルマンは複雑適応系を「環境から得られる情報よりスキーマ（内部モデル）を蓄積し、そのスキーマをもとに行動する非線形なシステム」と定義している。ジョン・ホルランドの複雑適応系はマレー・ゲルマンの複雑適応系が多数集まって構成されたシステムと考えられる。マレー・ゲルマンの複雑適応系については文献23)を参照されたい。
- 23) Murray Gell-Mann, *Complex Adaptive Systems*, G. Cowan, D. Pines and D. Meltzer [EDS.] *Complexity: Metaphors, Models and Reality, SFI Studies in the Science of Complexity*, Proc. Vol. XIX, Addison-Wesley, 1994.
- 24) 本稿では、複雑適応系としてのゼロエミッションシステムにはエージェントとして「人間」も含めて考えている。